

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи 2
«Побудова моделей системної динаміки у середовищі AnyLogic»
за курсом
«Моделювання систем»
для студентів
спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»,
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Харків 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи 2
«Побудова моделей системної динаміки у середовищі AnyLogic»
за курсом
«Моделювання систем»

для студентів спеціальностей:

121 – Інженерія програмного забезпечення, спеціалізація Програмне забезпечення систем;

122 – Комп'ютерні науки, спеціалізації – Інформаційні управляючі системи та технології; Управління проектами в сфері інформаційних технологій

Затверджено
редакційно-видавничою радою університету,
протокол №2 від 24.05.2018 року

Харків
НТУ«ХП»
2018

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять за курсом «Моделювання систем» для студентів спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення, спеціалізація – Програмне забезпечення систем; спеціальності 122 – Комп’ютерні науки, спеціалізації – Інформаційні управляючі системи та технології, Управління проектами в сфері інформаційних технологій /укл. – І. П. Гамаюн, С. І. Єршова, А. М. Копп, І. В. Лютенко, К. В. Мельник, О. В. Янголенко – Харків: НТУ «ХП», 2018. – 20 с.

Укладачі І. П. Гамаюн,
С. І. Єршова,
А. М. Копп,
І. В. Лютенко,
К. В. Мельник,
О. В. Янголенко

Рецензент О. Ю. Чередниченко

Кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 2 «Побудова моделей системної динаміки у середовищі AnyLogic»	5
Мета роботи	5
Хід роботи	5
1. Знайомство з об'єктом моделювання.....	5
2. Створення нового проекту	5
3. Редагування властивостей активного об'єкту.....	5
4. Розробка рівняння функціонування об'єкту моделювання.....	6
5. Розробка презентації імітаційної моделі	8
Завдання на виконання	12
Довідкові матеріали до самостійної роботи.....	13
1. Знайомство з об'єктом моделювання.....	13
2. Створення нового проекту та розробка рівняння функціонування об'єкту моделювання	13
3. Розробка презентації імітаційної моделі	14
4. Варіанти індивідуальних завдань	16
Контрольні питання	18
Список літератури	19

Лабораторна робота № 2

«ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ У СЕРЕДОВИЩІ ANYLOGIC»

Мета роботи

Метою роботи є:

- створити імітаційну модель «з нуля» та навчитися самостійно розробляти імітаційні моделі;
- навчитися розробляти презентації моделей;
- навчитися використовувати слайдери та текстові поля для управління параметрами моделей.

Хід роботи

1 Знайомство з об'єктом моделювання

Розглянемо просту математичну модель, що описує процеси, схожі на биття серця.

В цій моделі буде досліджуватися характер залежностей змінних x та b від часу при різних значеннях параметру eps , а також буде побудована фазова діаграма залежності радіусу x від змінної b .

Дана модель описана двома диференціальними рівняннями:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(x - x^3 - b)}{\varepsilon}, \quad \frac{db}{dt} = x - x_0,$$

де x – радіус серця; x_0 – його початкове значення; b – змінна; ε – параметр eps .

2 Створення нового проекту

За допомогою середовища AnyLogic необхідно створити новий проект та назвати його heart.

3 Редагування властивостей активного об'єкту

Ім'я кореневого активного об'єкту необхідно змінити з Main на Heart, використовуючи поле **Ім'я** панелі **Властивості**.

4 Розробка рівняння функціонування об'єкту моделювання

4.1 Визначення змінних за допомогою накопичувачів

Визначимо змінну x , додавши елемент **Накопичувач**, що розміщується у вкладці **Системна динаміка** панелі **Палітра**, на діаграму класу Heart. Для доданого елемента вказати x у полі **Ім'я**, x_0 у полі **Початкове значення**, обрати **Довільний Режим завдання рівняння** та ввести до поля $dx/dt = (x - \text{Math.pow}(x, 3) - b) / \text{eps}$ (рис. 2.1):

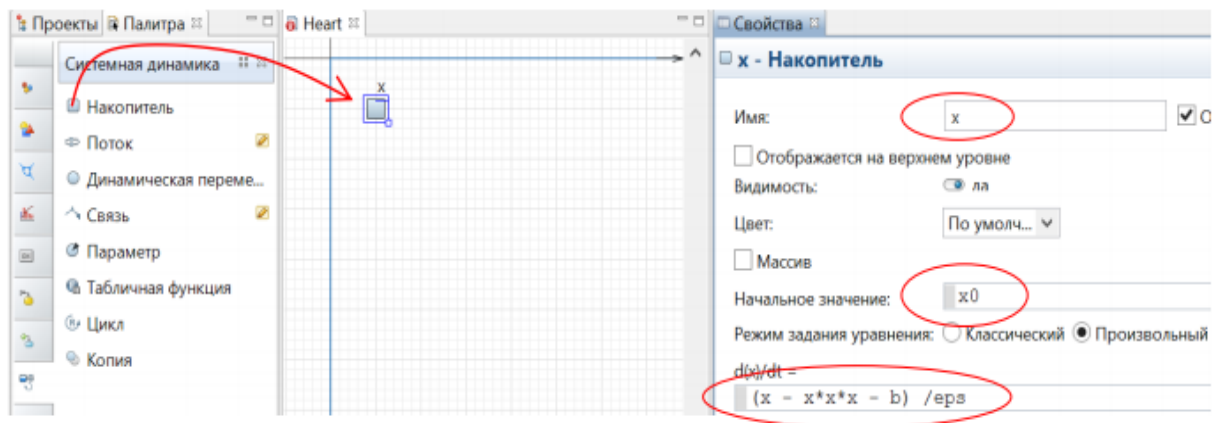


Рисунок 2.1 – Властивості змінної x

Аналогічно створити змінну b , що задається за допомогою рівняння $db/dt = x - x_0$, та має початкове значення 0.

4.2 Створення текстового коментарю

Додати текстовий коментар «Структура активного об'єкту» за допомогою елемента **Текст** з вкладки **Презентація** (рис. 2.2):

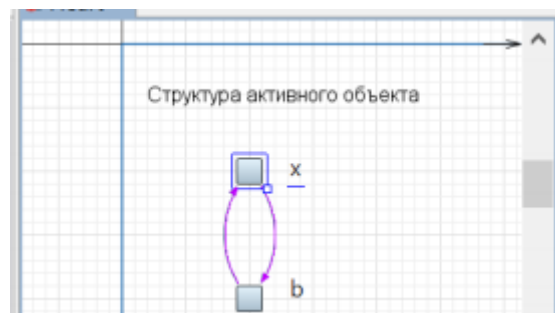


Рисунок 2.2 – Доданий текстовий коментар

4.3 Визначення змінних за допомогою параметрів

Для завершення побудови моделі необхідно додати на діаграму класу Heart параметри $x_0 = 0.5$ та $eps = 0.01$, використовуючи елементи **Параметр** з вкладки **Основна** панелі **Палітри** (рис 2.3):

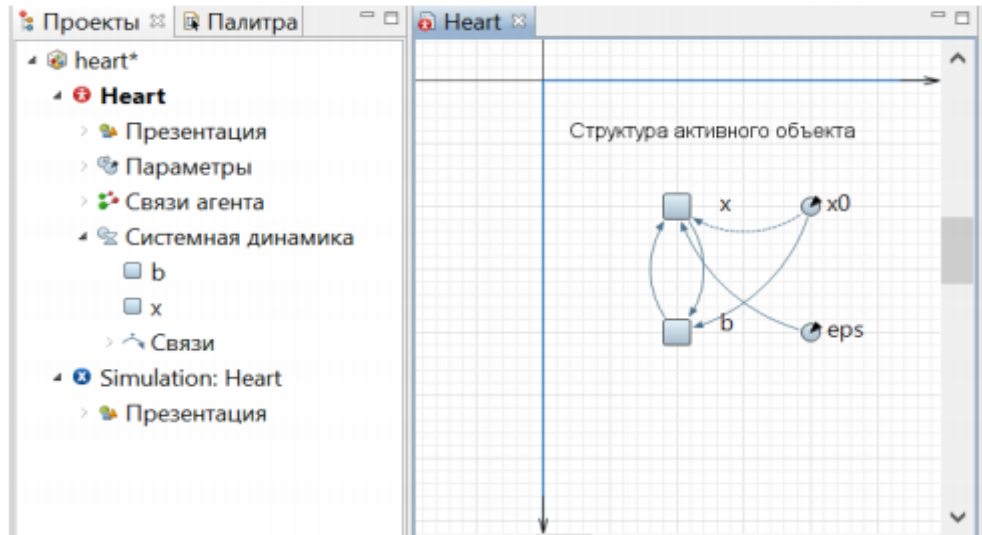


Рисунок 2.3 – Діаграма класу Heart

Після запуску моделі на виконання, структура активного об'єкту демонструє значення змінних x та b , що починають змінюватися згідно з визначеними для них рівняннями (рис. 2.4):

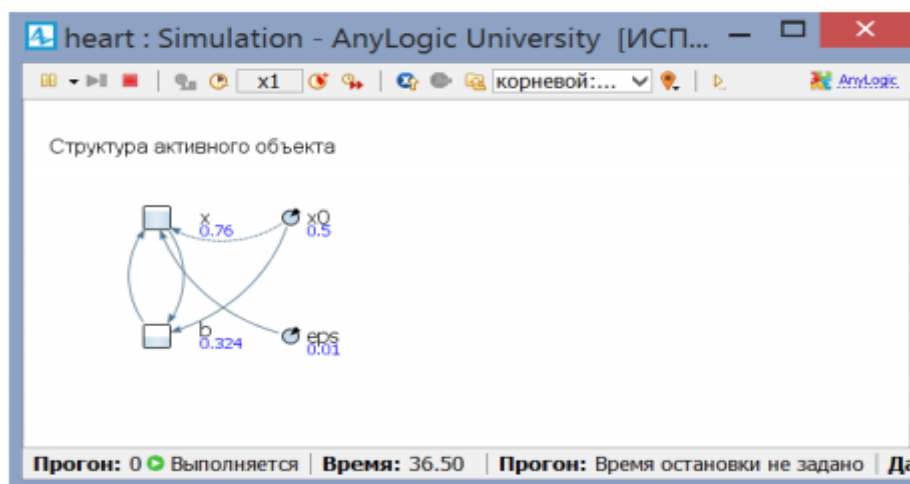


Рисунок 2.4 – Виконання створеної моделі

Вказати умову зупинки експерименту можна у вкладці **Модельний час** панелі властивостей об'єкту Simulation (рис. 2.5):

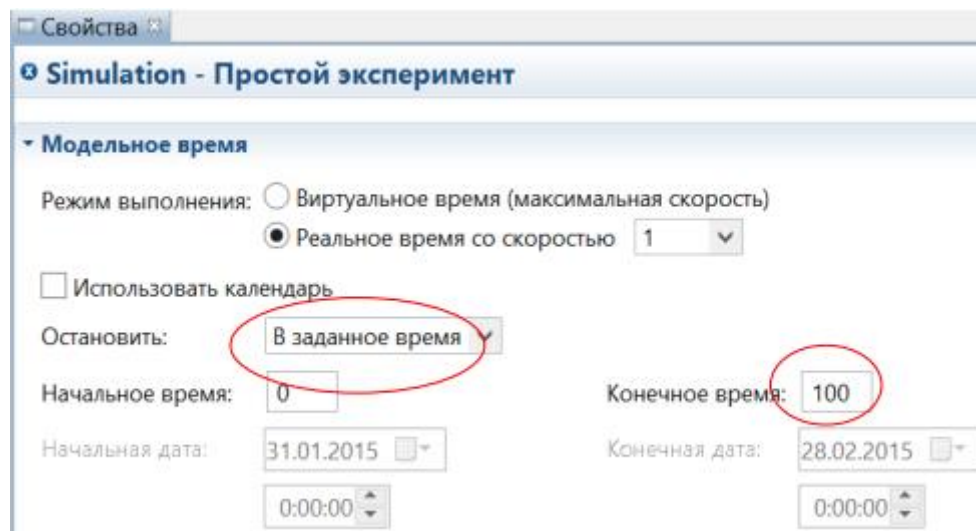


Рисунок 2.5 – Властивості об'єкту Simulation

5 Розробка презентації імітаційної моделі

5.1 Створення графіків

За допомогою графіків AnyLogic дозволяє наочно представити поведінку моделі, зокрема, зміну у часі усіх її змінних.

Для виміру частоти оновлення автоматично створюваних для змінних наборів даних, необхідно змінити період оновлення даних на сторінці властивостей **Специфічні** класу Heart (рис. 2.6):

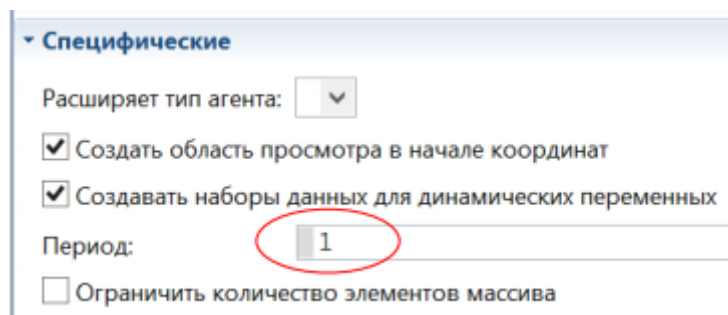


Рисунок 2.6 – Специфічні властивості класу Heart

Далі необхідно додати елемент **Графік** з палітри **Статистика** на діаграму класу Heart. У властивостях необхідно встановити змінну x у полі **Значення по осі X** та b у полі **Значення по осі Y**. В полі **Заголовок** вказати «Фазова діаграма». Для того, щоб отримати гладку діаграму, необхідно зменшити **Період** оновлення даних до 0.02 та збільшити число точок до 800 (рисунк 2.7):

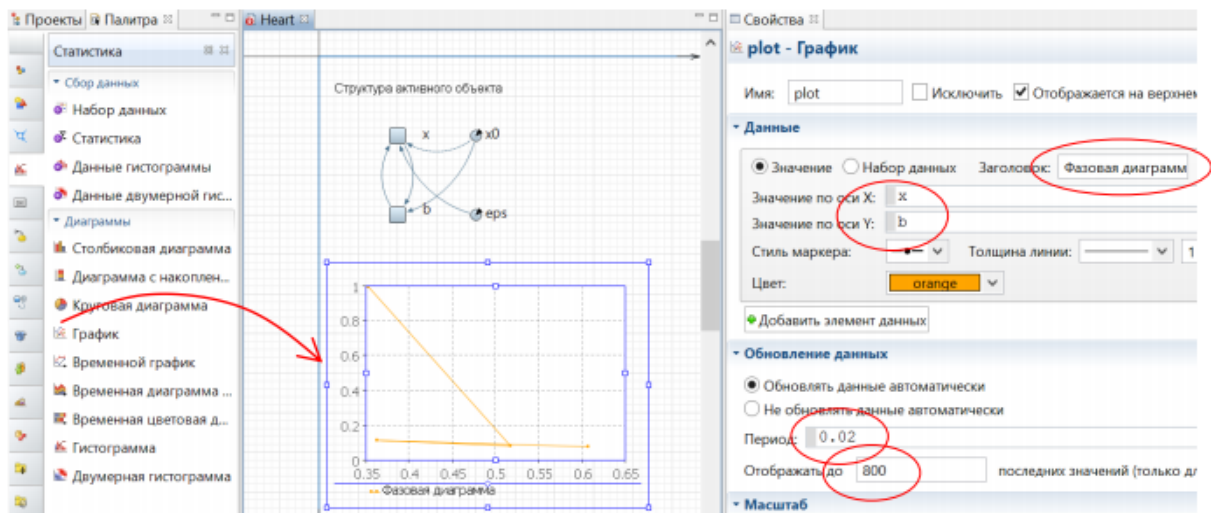


Рисунок 2.7 – Властивості графіку

Аналогічно треба побудувати **Часовий графік** для змінних x та b , розмістивши їх на одному графіку. **Часовий діапазон** вказати дорівнюючим 10.

Необхідно виконати серію експериментів з моделюю, виконуючи її з різними параметрами (рис 2.8). Зміна параметрів під час виконання моделі виконується у вікні інспекту відповідного параметру.

Для кращого розуміння динаміки моделі та спостереження за процесами, AnyLogic дозволяє будувати анімаційні зображення, які складаються з динамічних елементів. Усі їхні параметри (координати, розмір, колір та навіть видимість) можуть залежати від змінних та параметрів, що змінюються під час виконання моделі.

За допомогою зображення **Овалу** з вкладки **Презентація** панелі **Палітра**, побудуємо презентацію серця. В панелі властивостей доданого елементу

необхідно встановити червоний колір заливки та лінії межі. Товщину лінії межі встановити 1:

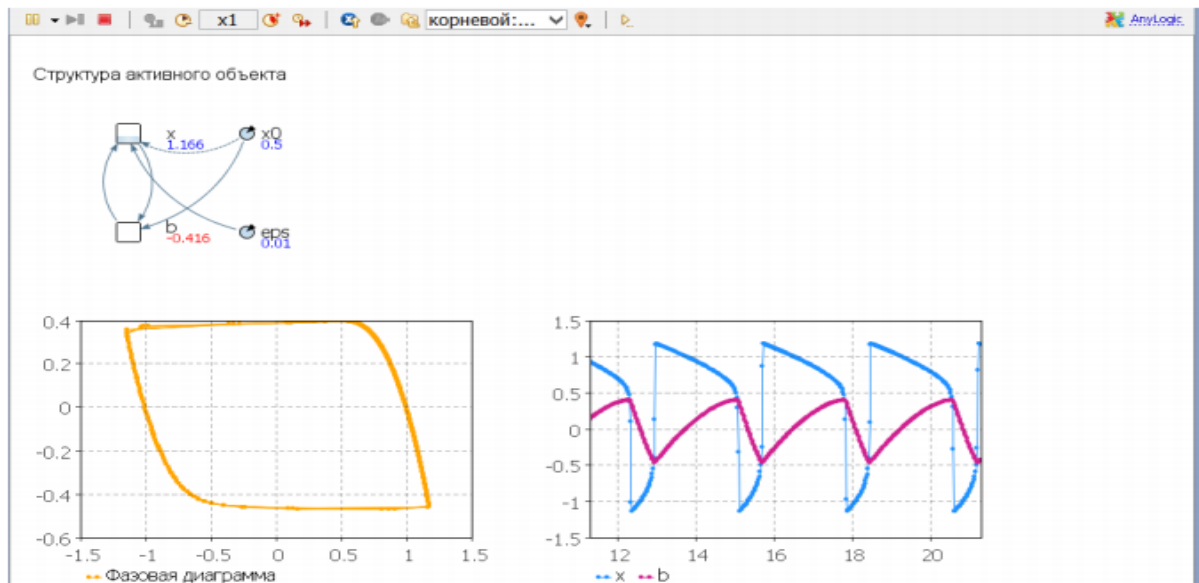


Рис. 2.8 – Демонстрація поведінки моделі за допомогою графіків

5.2 Створення графічного об'єкта

Зміну об'єму серця представимо зміною радіусів овалу у вигляді функції від змінної x (рис. 2.9):

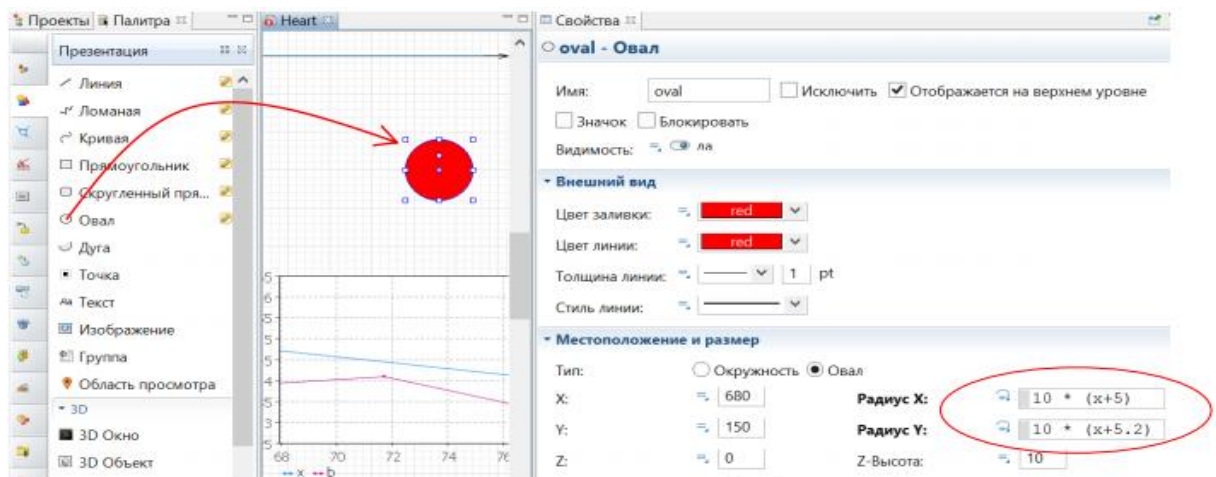


Рисунок 2.9 – Властивості об'єкта, що демонструє зміну об'єму серця

Після цього, необхідно запустити модель та провести експерименти з встановленням різних параметрів моделі, спостерігаючи за зміною характеру серцебиття.

5.3 Створення елементів управління за допомогою слайдерів

Середовище AnyLogic включає елемент управління, що дозволяє користувачу обирати число з заданого діапазону значень шляхом переміщення слайдеру.

З вкладки **Елементи управління** панелі **Палітра** необхідно додати елемент **Бігунок** на діаграму класу Heart. В полі **Зв'язати з** панелі властивостей ввести значення x_0 , а мінімальні та максимальні значення вказати 0 та 1 відповідно. Додати підпис до слайдеру можна за допомогою кнопки **Додати мітки** (рис. 2.10):

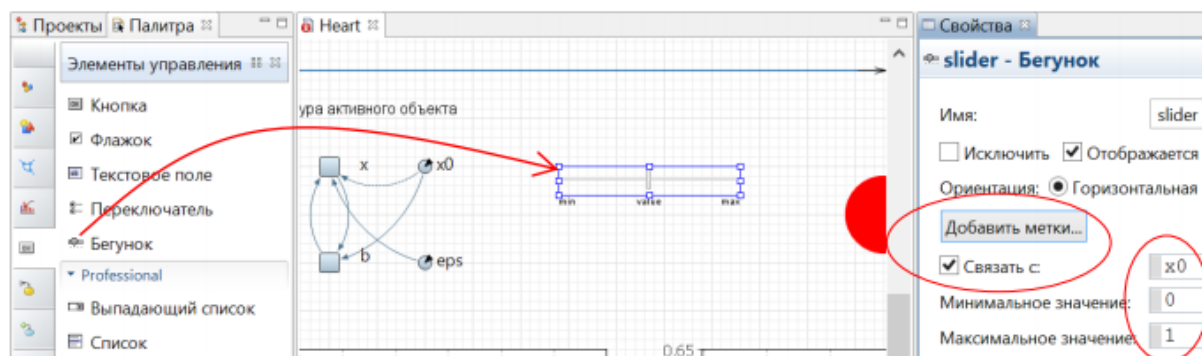


Рисунок 2.10 – Властивості доданого слайдеру

Аналогічно необхідно додати слайдер для параметру eps , вказавши обмеження від 0,01 до 0,5.

До верхньої частини діаграми класу Heart необхідно додати пояснювальний текст «Модель серця», обравши шрифт **Century Gothic**, стиль **Напівжирний**, розмір 22 (рис. 2.11).

Наступний текст необхідно розташувати трохи нижче та правіше за попередньо доданий (рис. 2.11). Встановити вирівнювання по правому краю та додати переводи строки там, де це потрібно щоб текст вмістився по ширині.

Для виділення функціональних блоків побудованої моделі необхідно додати прямокутники, та помістити їх на фон за допомогою команди **Порядок / На задній план** (рис. 2.11).

Для того, щоб користувачу було зрозуміло, якими параметрами він управляє, для слайдерів необхідно додати відповідні підписи (рис. 2.11):

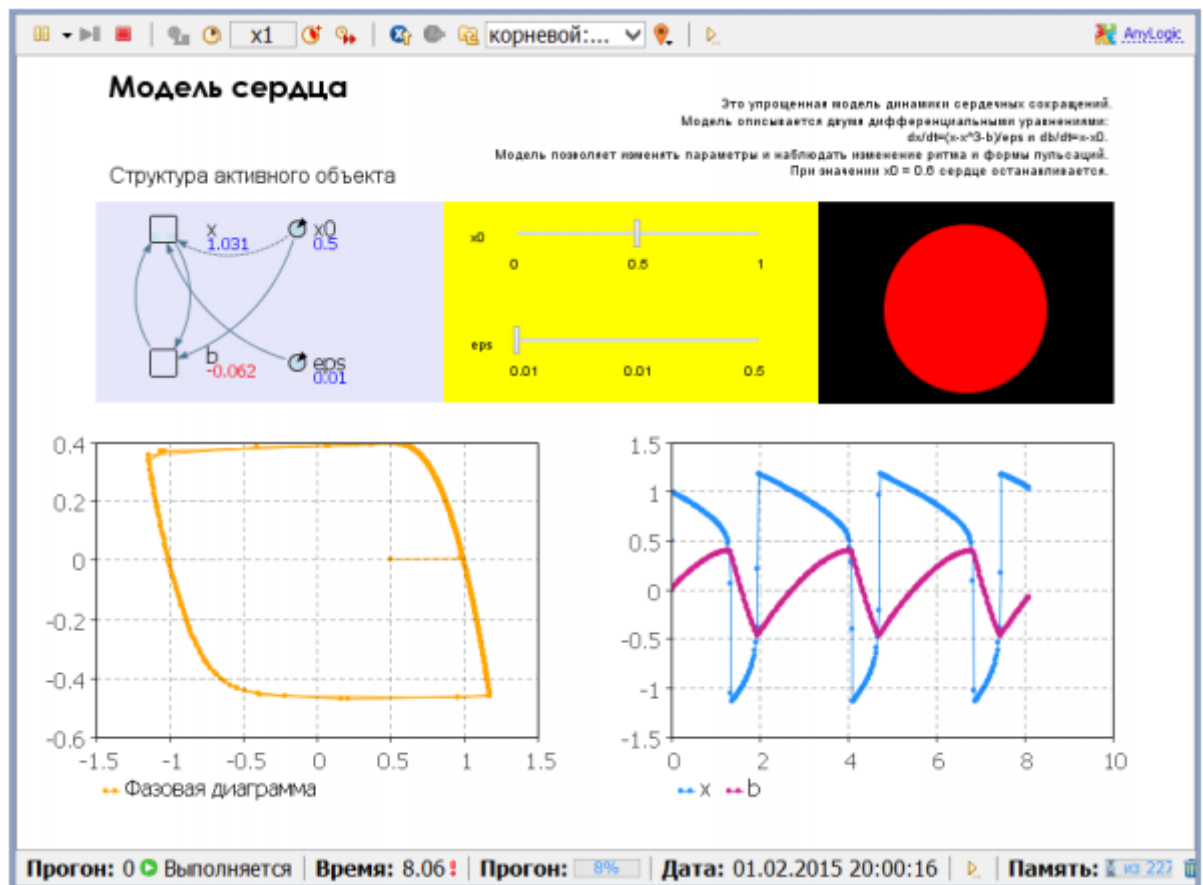


Рисунок 2.11 – Виконання завершеної моделі

Завдання на виконання

- 1 Ознайомитися з об'єктом моделювання.
- 2 Провести моделювання функціонування об'єкту.
- 3 Розробити презентацію імітаційної моделі.
- 4 Проаналізувати результати моделювання.
- 5 Розробити звіт до лабораторної роботи, який повинен містити короткий опис ходу роботи та результати експериментів з імітаційними моделями:

- серця;
- маятнику;
- об'єкту згідно до індивідуального завдання.

Довідкові матеріали до самостійної роботи:

1 Знайомство з об'єктом моделювання

Додатковим завданням цієї лабораторної роботи є самостійна побудова моделі маятника. Тіло маси 1 закріплено до нерухомого кронштейну за допомогою нитки довжиною 1, що не розтягується та не стискається. Необхідно дослідити коливальні рухи тіла.

З математичної точки зору маємо задачу Коші:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega, \frac{d\omega}{dt} = -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{l} - \mu \cdot \omega^2, x = l \cdot \sin(\alpha), y = l \cdot \cos(\alpha), \\ \alpha(0) = \alpha_0, \omega(0) = 0,$$

де α – поточний кут відхилення маятника від вертикалі; ω – його кутова швидкість; μ – коефіцієнт опору середовища (будемо вважати, що опір середовища пропорційний квадрату кутової швидкості).

Модель повинна містити дві змінні стану *alpha* та *omega*, три параметри *l*, *m*, та *g*, а також початкове значення змінної *alpha*, яка задається параметром з ім'ям *alpha0*. Змінні *x* та *y* задають координати центру мас маятника, їхні значення можна обчислити за формулами (рис. 2.12).

2 Створення нового проекту та розробка рівняння функціонування об'єкту моделювання

У середовищі AnyLogic створити ному модель та створити у її кореневому об'єкті чотири змінних *x*, *y*, *alpha*, *omega*. Змінні *x* та *y* слід задати за допомогою формул, а *alpha* та *omega* – за допомогою інтегралів, відповідно до зазначених вище виразів (рис. 2.13).

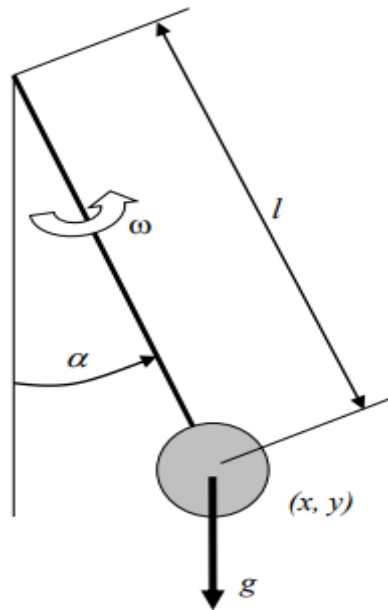


Рисунок 2.12 – Схема маятника

Початкове значення кутової швидкості ω дорівнює 0. Чотири параметри l , m , g та α_0 також необхідно створити на діаграмі класу активного об'єкту.

Необхідно звернути увагу на рівняння $\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{l} - \mu \cdot \omega^2$, адже при зведенні ω до квадрату член рівняння $-\mu \cdot \omega^2$ завжди буде від'ємним незалежно від напрямку руху маятника (знак змінної ω). Отже, буде втрачено напрямок дії сили опору, що призведе до помилки. Необхідно змінити дане рівняння таким чином, щоб знак кутової швидкості не міг бути втраченим

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{l} - \mu \cdot \omega \cdot |\omega|.$$

3 Розробка презентації імітаційної моделі

В презентації необхідно визначити чотири області. Центральна область повинна містити маятник, побудований за допомогою двох ліній та овалу. Один кінець лінії, який прив'язаний до дерев'яної опори, завжди має координати (0, 0). Інший кінець лінії має координати x та y – він прив'язаний до маятника (рис. 2.13):

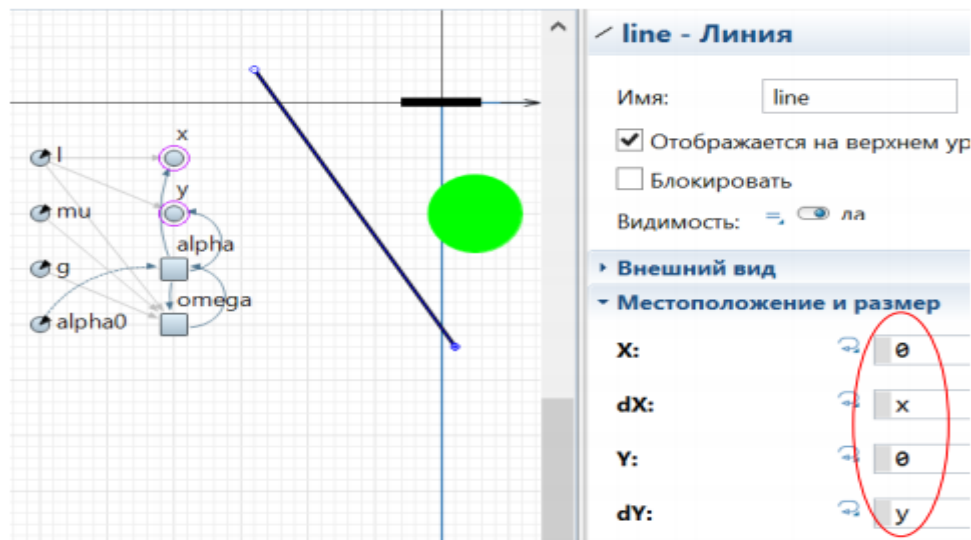


Рисунок 2.13 – Створення імітаційної моделі маятника

Відповідно, на вкладці **Динамічні** панелі властивостей лінії, що зображує нитку, у поля значень координат початку нитки **X** та **Y** ввести 0, а в поля значень координат кінця нитки **dX** та **dY** ввести значення x та y (рис. 2.13). Це призведе до того, що під час виконання моделі кінці лінії завжди будуть знаходитися у точках з координатами $(0, 0)$ та (x, y) . Для овалу у вкладці з динамічними значенням координат встановити значення x та y .

Третя область моделі повинна містити назву моделі та пояснювальний текст. Нижня частина третьої області повинна містити два **Текстових поля** для введення даних. До цих полів можна вводити значення параметрів l та mu , змінюючи їх під час виконання моделі (рис 2.14).

Нижня частина діаграми класу активного об'єкту повинна містити графіки залежності $alpha$ та $omega$ від часу, а також фазову діаграму залежності $alpha$ від $omega$ (рис 2.14).

Запустити модель на виконання. Провести експерименти за допомогою текстових полів.

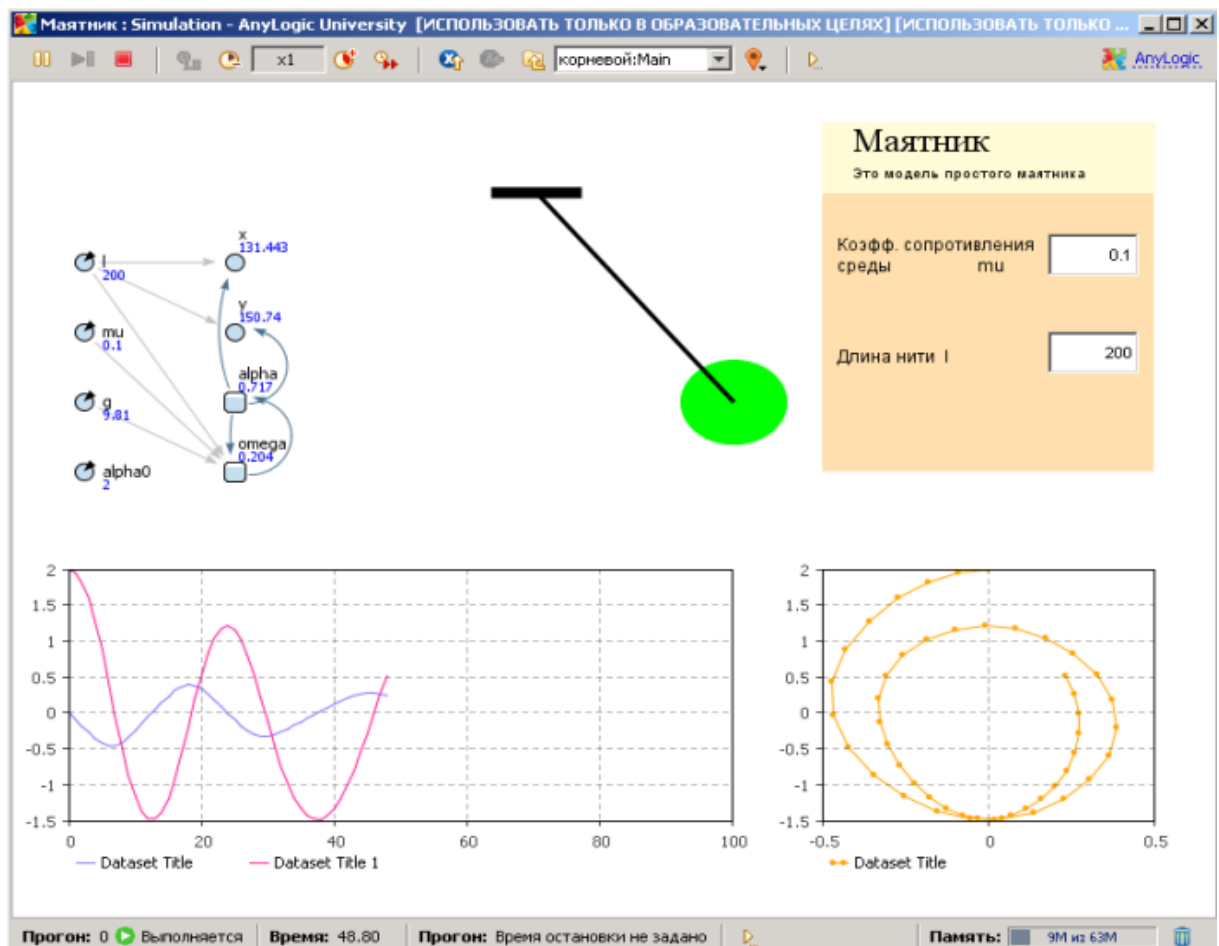


Рисунок 2.14 – Виконання моделі маятника

4 Варіанти індивідуальних завдань

1) математична модель, що описує процес розповсюдження відомостей про розпродаж деякої продукції:

$$y(t) = \frac{N}{1 + e^{-kNt}},$$

де t – час; N – кількість потенційних покупців; k – коефіцієнт інтенсивності реклами;

2) математична модель, що описує процес охолодження води у резервуарі, що мала початкову температуру $T(0)$, температуру $T(x)$ за x хвилин, а температура навколишнього середовища складає T_e :

$$T(t) = C_1 e^{kt} + T_e,$$

де t – час; T – температура води; C_1 – постійна величина при початкових умовах $T(0)$; k – коефіцієнт пропорційності, що визначається згідно до умов завдання;

3) математична модель, що описує процес занурення у рідину матеріальної точки масою m з нульовою початковою швидкістю:

$$v(t) = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right),$$

де t – час; k – коефіцієнт пропорційності;

4) математична модель, що описує процес коливання відносно положення рівноваги матеріальної точки масою m під дією сили пружності та зовнішньої сили:

$$y(t) = C_1 \cos t + C_2 \sin t + e^{-t},$$

$$C_1 = -1, C_2 = \operatorname{ctg} 1 - (e \sin 1)^{-1},$$

де t – час; y – відхилення відносно положення рівноваги;

5) математична модель, що описує процес хімічної реакції між речовинами А та В, у результаті чого утворюється речовина С:

$$x(t) = ab \frac{1 - e^{-k(b-a)t}}{b - ae^{-k(b-a)t}},$$

де t – час; a – кількість речовини А; b – кількість речовини В;

6) математична модель, що описує рух снаряду з урахуванням спротиву середовища:

$$x(t) = \frac{\mu}{k} (1 - e^{-kt}), \quad y(t) = \frac{\eta k + g}{k^2} (e^{-kt} - 1) - \frac{g}{k} t,$$

де t – час; k та g – постійні величини; $x'(0) = \mu$, $y'(0) = \eta$, $x(0) = y(0) = 0$;

7) математична модель, що описує сповільнення руху човна після вимикання двигуна, при цьому початкова швидкість човна $v(0)$ через x секунд стала дорівнювати $v(x)$:

$$v(t) = C e^{-\frac{k}{m}t},$$

де t – час; m – маса човна; k – коефіцієнт пропорційності; $C = v(0)$;

8) математична модель, що описує падіння парашутиста до відкриття парашуту:

$$v(t) = \sqrt{\frac{g}{\eta}} \frac{1 - e^{-2\sqrt{\eta g}t}}{1 + e^{-2\sqrt{\eta g}t}}, \quad \eta = \frac{k}{m} = \frac{g}{2500},$$
$$s(t) = 250 \ln(\operatorname{ch}(0.2t)),$$

де t – час; v – швидкість; s – відстань;

9) математична модель, що описує процес витікання води з вертикального циліндричного баку діаметром $2R$ та висотою H через отвір діаметром $2r$:

$$h(t) = \frac{1}{2} \left(-k \frac{r^2}{R^2} \sqrt{2g}t + 2\sqrt{H} \right)^2,$$

де t – час; h – висота рівню води над отвором; $k = 0,6$;

10) математична модель, що описує процес втікання 0,1 літрів азоту на секунду до посудини об'ємом V , що містить повітря (80% азоту та 20% кисню):

$$V(t) = C e^{-\frac{t}{10V}} + V,$$

де t – час; C – константа, яку можна визначити при $t = 0$.

Контрольні питання:

- 1) Як створити змінну, визначену диференціальним рівнянням?
- 2) Як створити параметр та встановити його значення?
- 3) Які існують способи побудови графіку змінної?
- 4) Як побудувати фазову діаграму?
- 5) Як змінювати параметри моделі під час її виконання?
- 6) Як змінити умову зупинки виконання моделі?
- 7) Як додати до моделі слайдер та зв'язати його зі змінною?
- 8) Як додати до моделі текстове поле та зв'язати його зі змінною?
- 9) Як змінити період оновлення графіку?
- 10) Які параметри графічних елементів можуть динамічно змінюватися під час виконання моделі?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Осоргин А. Е. AnyLogic 7. Лабораторный практикум / А. Е. Осоргин. – Самара: ПГК, 2015. – 115 с.

2 Григорьев И. AnyLogic за 3 дня. Практическое пособие по имитационному моделированию [Электронный ресурс] / И. Григорьев. – Режим доступа: <http://simulation.su/uploads/files/default/2017-uch-posob-grigoriev-anylogic.pdf>, 28.04.18.

3 Боев В. Д. Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования / В. Д. Боев, Д. И. Кирик, Р. П. Сыпченко. – СПб.: ВАС, 2011. – 348 с.

4 Боев В. Д. Компьютерное моделирование: пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7 / В. Д. Боев. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.

5 Киселева М. В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие / М. В. Киселева. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с.

6 Куликов Г. М. Дифференциальные уравнения. Тестовые задания: учебное пособие / Г. М. Куликов, И. В. Жигулина, А. Д. Нахман. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

Навчальне видання

**Методичні вказівки
до лабораторної роботи 2
«Побудова моделей системної динаміки у середовищі AnyLogic»
за курсом «Моделювання систем»
для студентів
спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»**

Укладачі:

**Гамаюн Ігор Петрович
Єршова Світлана Іванівна
Копп Андрій Михайлович
Лютенко Ірина Вікторівна
Мельник Каріна Володимирівна
Янголенко Ольга Василівна**

Відповідальний за випуск проф. Годлевський М.Д.

Роботу до друку рекомендував проф. Горілий О.В.

В авторській редакції

План 2018 р., поз. 140

Підписано до друку 15.06.18. Формат 60 × 84/16. Папір офсетн. № 2.
Друк – ризографія. Гарнітура New Roman Times. Ум. друк. арк. 0,8.
Наклад 50 прим. Зам. №

Видавничий центр НТУ «ХПІ», 61002, , Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія